

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Matija Bašnec

Zagreb, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

PROTUPOŽARNI PREMAZ

Mentor:

Prof. dr. sc. Ivan Juraga

Student:

Matija Bašnec

Zagreb, 2016.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se prof. dr. sc. Ivanu Juragi na savjetima i pomoći pri izradi ovog rada.

Posebno se zahvaljujem dr. sc. Ivanu Stojanoviću na pomoći i ukazanom trudu i povjerenju, kao i svim djelatnicima na Katedri za zaštitu materijala.

Velika zahvala i mojoj obitelji koja mi je omogućila studiranje, i pružila potporu i strpljenje tijekom mog dugogodišnjeg studiranja.

Matija Bašnec



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Matija Bašnec**

Mat. br.: 0035189348

Naslov rada na
hrvatskom jeziku: **PROTUPOŽARNI PREMAZ**

Naslov rada na
engleskom jeziku: **FIRE RETARDANT COATING**

Opis zadatka:

U radu je potrebno dati prikaz metoda zaštite od korozije koje se danas koriste u zaštiti ugljičnog čelika. Zaštita premazima spada u tehnologiju zaštite od korozije koja ima vrlo široku primjenu i koja se i danas intenzivno razvija. Opširnije prikazati metodu zaštite ugljičnog čelika protupožarnim premazima. Opisati prednosti, nedostatke i područje primjene te trendove razvoja.

U eksperimentalnom dijelu zadatka provesti usporedna ispitivanja sustava zaštite od korozije premazima na bazi otapala te protupožarnog premaza. Ispitati otpornost prema koroziji u agresivnom mediju te na postojanost prema temperaturi. Odrediti fizička i mehanička svojstva premaza te primjenom polarizacijskih (elektrokemijskih) metoda odrediti zaštitno djelovanje premaza. Kritički se osvrnuti na dobivene rezultate i mogućnost primjene analiziranih premaza u zaštiti metalnih konstrukcija.

Zadatak zadan:

25. studenog 2015.

Zadatak zdao:

Prof. dr. sc. Ivan Juraga

Rok predaje rada:

1. rok: 25. veljače 2016.

2. rok (izvanredni): 20. lipnja 2016.

3. rok: 17. rujna 2016.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 29.2., 02. i 03.03. 2016.

2. rok (izvanredni): 30. 06. 2016.

3. rok: 19., 20. i 21. 09. 2016.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Zoran Kunica

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	IV
SAŽETAK.....	V
1. UVOD.....	1
1.1. Općenito o koroziji.....	1
1.2. Vrsta korozije prema mehanizmu procesa	3
1.2.1. Kemijska korozija	3
1.2.2. Elektrokemijska korozija	4
1.3. Vrsta korozije prema geometriji korozijskog razaranja	5
1.3.1. Opća korozija	5
1.3.2. Galvanska korozija.....	6
1.3.3. Korozija u procijepu.....	7
1.3.4. Rupičasta korozija.....	8
1.3.5. Interkristalna korozija	8
1.3.6. Selektivna korozija.....	9
1.3.7. Erozijska korozija	10
1.3.8. Napetosna korozija.....	11
2. ZAŠTITA OD KOROZIJE.....	12
2.1. Konstrukcijsko tehnološke mjere.....	13
2.2. Primjena korozijski postojanih materijala.....	14
2.3. Elektrokemijska zaštita	14
2.4. Zaštita inhibitorima korozije	15
2.5. Zaštita prevlačenjem	16
3. PREMAZI.....	17
3.1. Komponente premaza.....	18
3.1.1. Vezivo	18
3.1.2. Otapala	18
3.1.3. Pigmenti	18
3.1.4. Punila	19
3.1.5. Aditivi	19
3.2. Klasifikacija premaza.....	20
4. PROTUPOŽARNI PREMAZI	21
4.1. Organski protupožarni premazi.....	22
4.2. Anorganski protupožarni premazi.....	23
4.3. Princip djelovanja protupožarnih ekspandirajućih premaza	23
4.4. Ispitivanje protupožarne zaštite.....	25
5. EKSPERIMENTALNI DIO	26
5.1. Protupožarni premaz "Pirostop"	26
5.2. Mjerenje debljine premaza.....	28
5.3. Ispitivanje postojanosti u slanoj komori	30

5.4. Ispitivanje prionjivosti premaza – "Cross-cut" test	33
5.5. Ispitivanje prionjivosti vlačnom metodom "Pull – off test"	36
5.6. Ispitivanje ekspandiranja protupožarnog premaza u peći	39
6. ZAKLJUČAK.....	46
LITERATURA.....	47
PRILOZI.....	48

POPIS SLIKA

Slika 1.	Istraživanje troškova korozije [1]	1
Slika 2.	Klasifikacija korozijskih procesa [1]	2
Slika 3.	Korozijski članak [5]	4
Slika 4.	Opća korozija [6]	5
Slika 5.	Galvanska korozija [7]	6
Slika 6.	Korozija u procijepu aluminijske [8]	7
Slika 7.	Rupičasta korozija [9]	8
Slika 8.	Mikroskopski prikaz interkristalne korozije [10]	8
Slika 9.	Grafitizacija sivog lijeva [11]	9
Slika 10.	Decinkacija mjedi [11]	9
Slika 11.	Erozijsko-korozijsko oštećenje [12]	10
Slika 12.	Pukotina uzrokovana napetostnom korozijom [13]	11
Slika 13.	Primjeri utjecaja oblikovanja i montaže konstrukcije na pojavu korozije [4]	13
Slika 14.	Utjecaj konstrukcijsko-tehnoloških mjera na karakter strujanja medija [4]	13
Slika 15.	Katodna zaštita žrtvovanom anodom [14]	14
Slika 16.	Mehanizam djelovanja hlapivog inhibitora [15]	15
Slika 17.	Shematski prikaz postupka galvanizacije [16]	16
Slika 18.	Komponente premaza	17
Slika 19.	Bubrenje organskog premaza [19]	22
Slika 20.	Stvaranje izolacijske pjene pri izlaganju vatri [4]	24
Slika 21.	Uzorci sa nanesenom temeljnom bojom	27
Slika 22.	Uzorci sa nanesenom protupožarnom bojom	27
Slika 23.	Završni izgled uzoraka sa nanesenom lakbojom	27
Slika 24.	Slana komora, Laboratorij za zaštitu materijala, FSB	30

POPIS TABLICA

Tablica 1. Mjerenje debljine premaza	28
Tablica 2. Izmjerene debljine premaza.....	29
Tablica 3. Parametri ispitivanja u slanoj komori.....	31
Tablica 4. Izgled uzoraka prije i nakon vađenja iz slane komore	32
Tablica 5. Ocjena stupnja korozije i mjehuranja	33
Tablica 6. Ocjenjivanje prionjivosti premaza [4]	34
Tablica 7. "Cross-cut" test prije i poslije slane komore.....	35
Tablica 8. Postupak "Pull-off" testa.....	36
Tablica 9. Rezultati "Pull off" testa prije slane komore.....	37
Tablica 10. Rezultati "Pull off" testa nakon slane komore	38
Tablica 11. Oprema u Laboratoriju za toplinsku obradu.....	39
Tablica 12. Ispitivanje uzoraka pri temperaturi 300 °C	40
Tablica 13. Ispitivanje uzorka 5 pri temperaturi 400 °C	41
Tablica 14. Ispitivanje uzorka 11 pri temperaturi 400 °C	42
Tablica 15. Ispitivanje uzorka 6 pri temperaturi 500 °C	43
Tablica 16. Ispitivanje uzorka 12 pri temperaturi 500 °C	44

SAŽETAK

U današnje vrijeme korozija je jedan ključnih faktora u ekonomskom i sigurnosnom aspektu, te zanimanje za ovu vrstu problema raste. U ovom završnom radu prikazana je zaštita konstrukcija protupožarnim premazima. Rad se sastoji od teorijskog i eksperimentalnog dijela.

Teorijski dio prikazuje moguće zaštite od korozije, a opširnije zaštitu premazima od korozije i požara.

U eksperimentalnom dijelu prikazana su ispitivanja protupožarnog premaza. Cilj je bio provesti ispitivanja zaštite od korozije protupožarnog premaza. Ispitati otpornost prema koroziji u agresivnom mediju te postojanosti prema temperaturi. Odrediti fizička i mehanička svojstva premaza te primjenom elektrokemijskih metoda odrediti zaštitno djelovanja premaza.

Ključne riječi: protupožarni premaz, zaštita od požara, premazi, fizička svojstva premaza, zaštita od korozije

1. UVOD

Korozija je danas jedan od razloga zbog kojeg je nastala kriza materijala i energije, a to dovodi do znatnih gubitaka u gospodarstvu svake zemlje. Stoga se sve više pažnje pridodaje zaštiti metala od korozije zbog povećane upotrebe metala u svim područjima tehnologije. Također, zbog većeg korištenja metalnih konstrukcija i sve tanjih stjenki koje ne toleriraju korozijske napade jednako kao i teške konstrukcije. Od svih metala čelik se najviše koristi za izradu metalnih konstrukcija. Metalne konstrukcije su izložene vrlo različitim korozivnim sredinama. Uz današnji razvoj, postoje sve veći zahtjevi na kvalitetu i dugovječnost metalnih konstrukcija. Najzastupljenija metoda zaštite čeličnih konstrukcija od korozije je primjenom premaza. Tako se koriste i protupožarni premazi koji štite konstrukciju ne samo od korozije već i od požara te pružaju dodatnu kvalitetu zaštite.

1.1. Općenito o koroziji

Korozija je nenamjerno razaranje konstrukcijskih materijala, uzrokovano fizikalnim, kemijskim i biološkim agensima. Iz ove definicije korodirati mogu i drugi materijali, ali pojam korozije vezan je za metal. Korozija je jedan od najvećih uništavača ljudskih dobara. Korozija je spontan proces koji se ne može spriječiti, ali se može usporiti [1, 2, 3]. Prema ispitivanjima 2003. godine u SAD-u direktni troškovi korozije iznosili su 3,1 % BDP-a, što je 276 milijardi američkih dolara na godinu, odnosno 1000 američkih dolara po stanovniku (slika 1.) [1].

Prema istraživanjima 2003. godine u SAD-u

DIREKTNI TROŠKOVI KOROZIJE IZNOSE:



Slika 1. Istraživanje troškova korozije [1]

Čelik je materijal koji se najviše koristi pri izradi raznih konstrukcija, te je njegovo korozijsko ponašanje i antikorozivnu zaštitu dobro poznavati. Korozija smanjuje uporabnu vrijednost čelika, skraćuje vijek trajanja konstrukcija, poskupljuje njihovo održavanje, uzrokuje gubitke u proizvodnji, zastoje u radu, havarije, nesreće i dr. Ekonomsko značenje korozije čelika je veliko i ono raste primjenom skupljih metala osjetljivih na koroziju. Stvarnu štetu nastalu zbog korozije na čeličnim konstrukcijama je teško izračunati jer osim direktnih šteta uključuje i indirektne koje su goleme. Da bi došlo do pojave korozije ili procesa oštećivanja čelične konstrukcije, mora u promatranom sustavu postojati mehanička, kemijska, biološka ili neka druga pokretačka sila. Korištenjem raznih tehnologija antikorozivne zaštite, upravo se ti otpori povećavaju i usporavaju tijekom korozijskih procesa [2, 3].

Korozijski procesi se prema mehanizmu procesa i mediju mogu podijeliti na kemijsku i elektrokemijsku koroziju (slika 2.).



Slika 2. Klasifikacija korozijskih procesa [1]

1.2. Vrsta korozije prema mehanizmu procesa

Pojave korozije klasificiraju se prema mehanizmu procesa, mediju u kojem se nalazi, vrsti postrojenja i geometriji korozijskog razaranja. Temeljna podjela je prema mehanizmu procesa i mediju u kojem se nalazi, i to na kemijsku i elektrokemijsku [4].

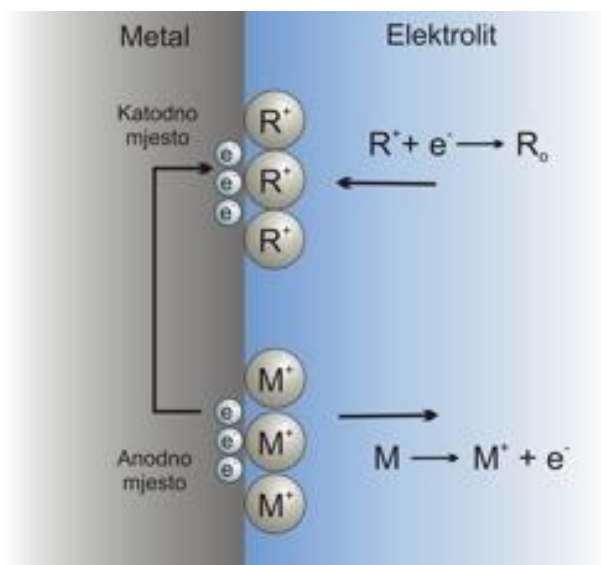
1.2.1. Kemijska korozija

Kemijska korozija metala zbiva se u neelektrolitima, tj. u medijima koji ne provode električnu struju, pri čemu nastaju spojevi metala s nemetalnim elementima (najčešće oksidi i sulfidi). Kemijska korozija sastoji se u reakciji atoma metala iz kristalne rešetke s molekulama nekog elementa ili spoja iz okoline pri čemu izravno nastupaju molekula spoja koji čini korozijski produkt. Najvažniji neelektroliti koji u praksi izazivaju kemijsku koroziju su vrući plinovi i organske tekućine [4].

1.2.2. Elektrokemijska korozija

Elektrokemijska korozija nastaje na metalima u električki vodljivim sredinama (elektrolitima) kao što su prirodna i tehnička voda, vodene otopine kiselina, lužina, soli i drugih stvari, vlažno tlo te vlažna atmosfera (ugljični čelik korodira pri relativnoj vlazi $RV > 60 \%$). Njezin uzrok je također afinitet, ali on se manifestira kao električni napon, tzv. razlika potencijala između dva metala, između dva mjesta na površini metala ili između metala i elektrolita[4].

Elektrokemijska korozija metala je redoks-proces u sustavu metal/elektrolit, u kojem dolazi do oksidacije (ionizacije, otpuštanja elektrona) metala u slobodni metalni ion te redukcije (depolarizacije, primanja elektrona) nekog oksidansa, tzv. depolarizatora što je prikazano slikom 3 [4].



Slika 3. Korozijski članak [5]

1.3. Vrsta korozije prema geometriji korozijskog razaranja

Korozijske pojave klasificiraju se često po svojem obliku i raspodjeli na površini materijala, tj. po geometriji korozijskog razaranja. Uobičajena je podjela na osam pojava oblika korozije, i to [4]:

1. opća korozija
2. galvanska korozija
3. korozija u procijepu
4. rupičasta korozija
5. interkristalna korozija
6. selektivna korozija
7. erozijska korozija
8. napetosna korozija.

1.3.1. Opća korozija

Opća (jednolika, engl. *uniform*) korozija najčešći je i najrašireniji, ali najmanje opasan, oblik korozije jer zahvaća približno jednako čitavu površinu materijala izloženu nekoj agresivnoj sredini (slika 4.). Postoje ravnomjerna i neravnomjerna opća korozija gdje je neravnomjerna kudikamo opasnija [4].



Slika 4. Opća korozija [6]

1.3.2. Galvanska korozija

Galvanska (bimetalna) korozija nastaje pri spajanju dvaju ili više materijala različitog potencijala u elektrolitu, pri čemu dolazi do korozije onog metala koji ima niži električni potencijal [4].

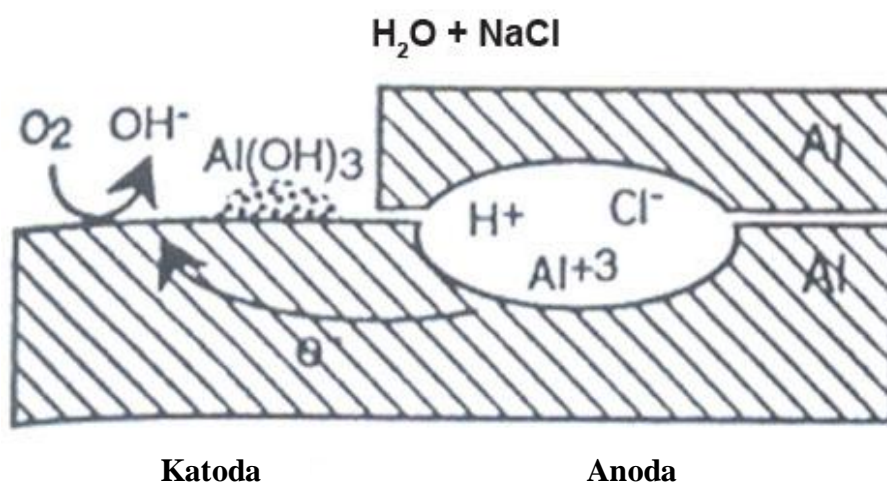
Spajanjem dvaju metala različitog potencijala u elektrolitu dolazi do formiranja galvanskog članka, u kojem je elektronegativniji metal anoda, a elektropozitivniji metal katoda. Zbog razlike potencijala dolazi do toka električne struje od anode prema katodi i oksidacije anode što je prikazano slikom 5 [4].



Slika 5. Galvanska korozija [7]

1.3.3. Korozijska u procijepu

Korozija u procijepu (engl. *crevice corrosion*) naziv je za korozijsku pojavu u uskim površinskim pukotinama ili u procijepima konstrukcijske izvedbe materijala istih korozijskih potencijala (slika 6.). U takvim pukotinama i procijepima dolazi do nakupljanja vode i nečistoća, povećava se kiselost otopine, smanjuje se pH-vrijednost te povećava koncentracija agresivnih čimbenika. Unutarnji dio procijepa postaje anodno područje dok se katodna reakcija zbiva na vanjskom dijelu procijepa [4].



Slika 6. Korozijska u procijepu aluminija [8]

1.3.4. *Rupičasta korozija*

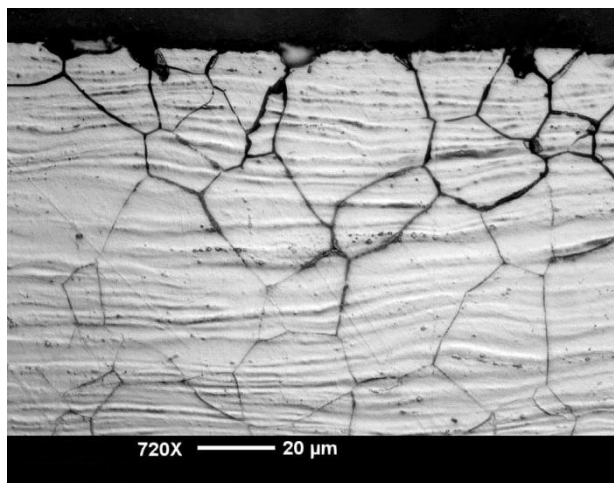
Rupičasta korozija (engl. *pitting*) je usko lokalizirana korozija približno kružnog oblika, pri čemu je dubina prodiranja nakon dovoljno duga vremena nekoliko puta veća od njezine širine na površini materijala. To je lokalni oblik korozije koji napada samo neke dijelove izložene površine materijala (slika 7.) [4].



Slika 7. *Rupičasta korozija* [9]

1.3.5. *Interkristalna korozija*

Posebno opasan oblik korozije koji napreduje nevidljivo duž granica kristalita (zrna) čime izaziva razaranje metalne veze među kristalitima u mikrostrukturi čelika i konačno raspad čitavog dijela (slika 8.). Interkristalna korozija može dugo ostati neprimijećena, a naglo smanjuje čvrstoću i žilavost materijala [4].



Slika 8. *Mikroskopski prikaz interkristalne korozije* [10]

1.3.6. Selektivna korozija

Selektivna korozija napada samo jednu (neplemenitiju) od faza ili komponenata višefaznog ili višekomponentnog materijala. Primjer fazne selektivne korozije je *grafitizacija sivog lijeva* (slika 9.) u slanoj vodi, razrijeđenim kiselinama i nekim vrstama tla. Komponentna selektivna korozija obično se pojavljuje u jednofaznim legurama, kao što je pojava *decinkacije mjedi* (slika 10.) s $> 15\%$ Zn, u vodi i tlu [4].



Slika 9. Grafitizacija sivog lijeva [11]



Slika 10. Decinkacija mjedi [11]

1.3.7. Erozijska korozija

Erozijska korozija (slika 11.) je primjer istodobnog djelovanja kemijskog (korozije) i fizikalnog (erozije) oštećivanja materijala. Erozijska je mehanički potpomognut proces trošenja materijala, a definira se kao progresivan gubitak materijala s površine konstrukcije zbog mehaničkog međudjelovanja površine i medija. Djelovanjem u agresivnom (korozivnom) mediju pojavljuje se erozijska korozija što se često događa na sustavima za prijenos tekućina [4].



Slika 11. Erozijsko-korozijsko oštećenje [12]

1.3.8. Napetosna korozija

Napetosna korozija (engl. SCC – *Stress Corrosion Cracking*) je oblik korozije koji nastaje poradi istodobnog djelovanja agresivnog okruženja i vlačnih naprezanja na materijal konstrukcije (slika 12.). Vlačna naprezanja su uglavnom posljedica zaostalih naprezanja zbog hladne deformacije ili zavarivanja, ali mogu biti i vanjska nametnuta naprezanja, primjerice, kod ovjesnih elemenata visećih mostova ili spuštenih stropova [4].



Slika 12. Pukotina uzrokovana napetosnom korozijom [13]

2. ZAŠTITA OD KOROZIJE

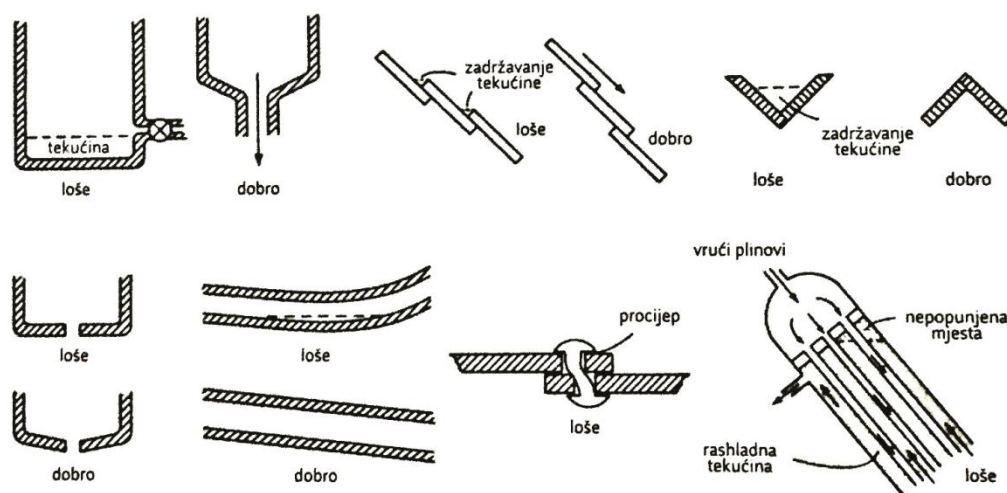
Proučavanje je procesa oštećivanja materijala nužno kako bi se moglo uspješno spriječiti pronalaženjem ili unapređenjem zaštitnih metoda, tj. postupaka. Metodama zaštite od korozije obično se istodobno koče ili sprječavaju pojave različitih vrsta i oblika korozijskih razaranja [4].

Osnovne metode zaštite od korozije su [4]:

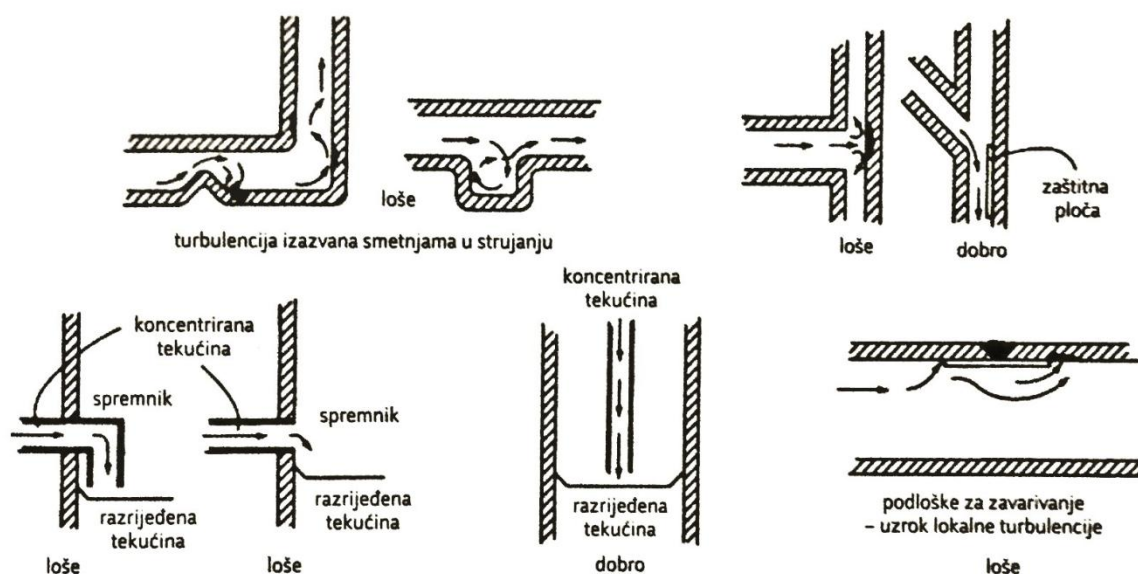
- konstrukcijsko-tehnološke mjere
- primjena korozijski postojanih materijala
- elektrokemijska zaštita
- zaštita inhibitorima korozije
- zaštita prevlačenjem.

2.1. Konstrukcijsko tehnološke mjere

Oblikovanje materijala, počevši od konstruiranja do izrade pojedinih dijelova i složenih proizvoda, mjerodavno je za unutrašnje faktore oštećivanja pa i koroziju. Prema tome oblikovanju uvelike ovise vrsta, oblik, intenzivnost i tok korozije, što utječe na funkcionalnost, estetski dojam, cijenu i trajnost proizvoda. Neka od konstrukcijskih rješenja dana su na slikama 13 i 14 [4].



Slika 13. Primjeri utjecaja oblikovanja i montaže konstrukcije na pojavu korozije [4]



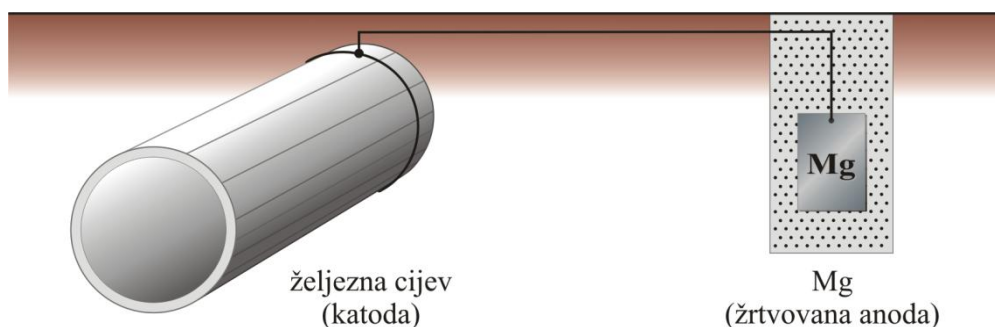
Slika 14. Utjecaj konstrukcijsko-tehnoloških mjera na karakter strujanja medija [4]

2.2. Primjena korozijski postojanih materijala

Jedan od najvažnijih, ali i najsloženijih zadataka konstruktora je izbor optimalnoga konstrukcijskog materijala; pri tome valja uzeti u obzir mnoge ekonomske i tehničke kriterije čime se utječe na ukupnu konkurentnost proizvoda. Korozijsko je ponašanje svakako jedan od važnijih kriterija za izbor materijala, jer se pravilnim odabirom materijala direktno utječe na trajnost i sigurnost konstrukcije u različitim uvjetima eksploatacije. Danas se takvi materijali sve više primjenjuju. Korozijski je postojaniji onaj materijal kod kojeg, u jednakim vanjskim uvjetima, dolazi do manje intenzivnog razaranja na površini ili do neželjenih promjena mikrostrukture [4].

2.3. Elektrokemijska zaštita

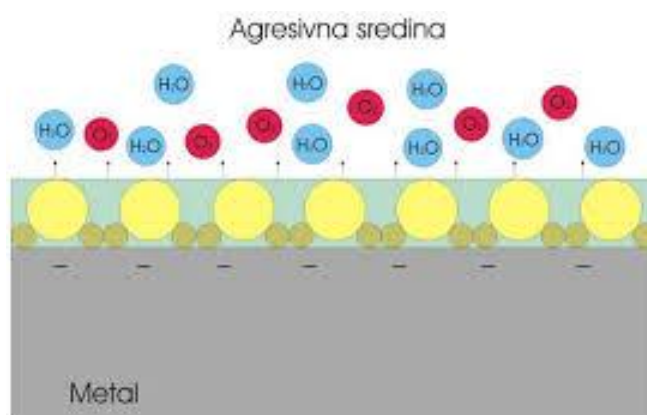
Temelje elektrokemijske zaštite postavio je Sir Humphry Davy 1824. godine. On je upotrijebio cink za zaštitu bakrenih oklopa na drvenim trupovima ratnih brodova u morskoj vodi. Danas se elektrokemijska zaštita koristi za zaštitu uronjenih i ukopanih metalnih konstrukcija koje nisu lako pristupačne za održavanje premazima, kao što su npr. cjevovodi, lučka postrojenja, brodovi, spremnici, izmjenjivači topline i armatura u građevinarstvu. Ovisno o načinu polarizacije, elektrokemijska zaštita može biti anodna ili katodna (slika 15.) [4].



Slika 15. Katodna zaštita žrtvovanom anodom [14]

2.4. Zaštita inhibitorima korozije

Korozijsko djelovanje agresivnih komponenata u elektrolitu u praksi se često smanjuje primjenom inhibitora korozije (slika 16.). Inhibitori korozije se definiraju kao tvari anorganskog ili organskog porijekla koje u vrlo malim koncentracijama smanjuju brzinu korozije do tehnološki prihvatljivih vrijednosti. Nekoliko je mehanizama djelovanja inhibitora, a u pravilu se radi o stvaranju barijere (tankog filma ili sloja korozijskih produkata) između okoline i metala, ili pak o promjeni okoline (smanjenje korozivnosti) materijala koji se štiti. Inhibitori najčešće koče koroziju u tekućinama, ali se koriste i u zaštiti od atmosferske korozije. Prema načinu djelovanja, inhibitori se dijele na anodne, katodne i miješane (anodno-katodne), prema tome koče li ionizaciju metala (anodnu reakciju), redukciju oksidansa (katodnu reakciju) ili oba ta procesa [4].



Slika 16. Mehanizam djelovanja hlapivog inhibitora [15]

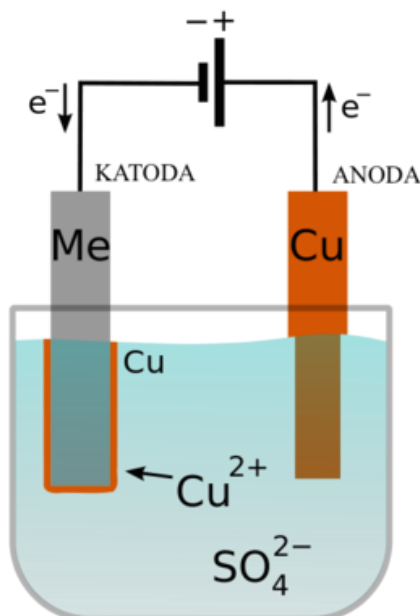
2.5. Zaštita prevlačenjem

Korozija metala može se zakočiti ili spriječiti nanošenjem prevlaka koje u prvom redu služe kao barijera prema agresivnom mediju. Prevlake mogu biti metalne i nemetalne, a nemetalne mogu biti organske i anorganske. U zaštiti čeličnih konstrukcija najveću primjenu imaju organske prevlake [4].

Osim za zaštitu od korozije, prevlake se često rabe i za zaštitu od mehaničkog trošenja, zbog estetskih razloga ili pak za regeneraciju istrošenih predmeta, odnosno reparaturu loše izrađenih predmeta. Ipak je i u tim primjerima poradi trajnosti sustava podloga-prevlaka važan zaštitni efekt prevlake [4].

Zaštitno djelovanje ovisi o vrsti i o debljini prevlake, o stupnju njezine kompaktnosti i o čvrstoći prijanjanja. S obzirom na to, na kvalitetu prevlake znatno utječe postupak nanošenja koji uključuje predobradu metalne površine za prevlačenje, nanošenje u užem smislu i završnu obradu prevlake, koja nije potrebna u svim postupcima prevlačenja [4].

Na slici 17. je prikazan postupak galvanizacije metala nanošenjem bakrene prevlake.

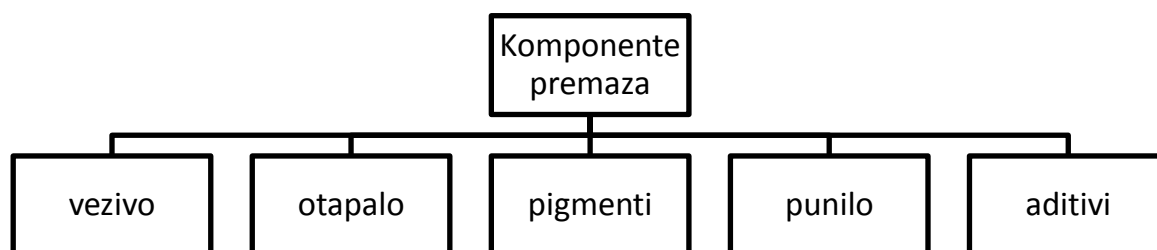


Slika 17. Shematski prikaz postupka galvanizacije [16]

3. PREMAZI

Premaz je općeniti naziv za jedan ili više međusobno povezanih slojeva na nekoj podlozi koji stvaraju "suhi" film. Izraz boja se tradicionalno rabi za opis pigmentiranih materijala drugačijih od bezbojnih filmova koje nazivamo lakovi. Sva premazna sredstva sadržavaju vezivo, koje čini opnu prevlake, i otapalo/razrjeđivač koji obično otapa vezivo, a regulira viskoznost [4].

Osim toga, premazna sredstva mogu sadržavati netopljive praškove (pigmente i punila) koji daju nijansu i čine premaze neprozirnim, kao i različite dodatke (aditive) [4]. Osnovne komponente premaza prikazane su slikom 18.



Slika 18. Komponente premaza

3.1. Komponente premaza

3.1.1. Vezivo

Vezivo čini neisparljivi dio medija boje. To su organske tvari u tekućem ili praškastom stanju koje povezuju sve komponente premaznog sredstva, a nakon nanošenja stvaraju tvrdi zaštitni sloj. U određenom premaznom sredstvu često se kombiniraju različita veziva kako bi se postigla željena svojstva premaza. Valja istaknuti da se vezivo premaznog sredstva bitno razlikuje od tvari koja čini opnu prevlake ako ona nastaje kemijskim otvrdnjivanjem. Važna su veziva na osnovi sušivih masnih ulja, poliplasta, derivata celuloze, prirodnih smola, prirodnog ili sintetičkog kaučuka i bituminoznih tvari [4].

3.1.2. Otapala

Otapala su hlapivi organski spojevi u kojima se vezivo otapa, ali pri tome ne dolazi do kemijskih promjena. Upotrebljavaju se za postizanje određene viskoznosti zaštitnih sredstava tako da se ona mogu lako nanijeti na površinu materijala. Redovito je riječ o niskoviskoznim i lako hlapivim smjesama na osnovi alifatskih, aromatskih i kloriranih ugljikovodika, alkohola, ketona i estera. Iste organske kapljevine često služe i kao razrjeđivači za sniženje viskoznosti premaznih sredstva i kao otapala za njihova veziva. Otapalo je komponenta koja se dodaje pri proizvodnji, a razrjeđivač se po potrebi dodaje neposredno prije nanošenja [4].

3.1.3. Pigmenti

Pigmenti su organske ili anorganske, obojene ili neobojene, netopljive čestice u obliku praha, paste ili vlakana koje su obično već u proizvodnji raspršene u premaznu sredstvu, čime se postiže neprozirnost i obojenje naličja, a redovito se poboljšava i njihovo zaštitno djelovanje, otpornost na svjetlo i grijanje te mehanička svojstva [4].

Mogu biti dekorativni (za pokrivne premaze), antikorozijski i pigmenti koji imaju obje funkcije. S obzirom na mehanizam zaštitnog djelovanja postoje aktivni (temeljni premazi) i inertni (u svim premazima) zaštitni pigmenti. Aktivnost zaštitnih pigmenata osniva se na inhibiciji korozije, pasivaciji površine, na katodnoj zaštiti metalne podloge te neutralizaciji kiselih tvari iz okoline, dok se inertnost osniva na barijernom učinku [4].

3.1.4. *Punila*

Punila su bijele ili slabo obojene anorganske tvari netopljive u primijenjenu mediju. U premaze se dodaju zbog poboljšavanja mehaničkih svojstava, mazivnosti i svojstava tečenja, zbog povećanja i smanjenja sjaja i zbog poboljšavanja barijernih svojstava filma, tj. zbog otpornosti filma prema difuziji vode i agresivnih plinova. Dobivaju se ili iz prirodnih minerala ili sintetskim taloženjem iz vodenih otopina. Prema kemijskom sastavu mogu se razvrstati u sulfate, karbonate, okside i silikate [4].

3.1.5. *Aditivi*

Aditivi su tvari koje uključene u formulaciju premaza unatoč malom udjelu, imaju značajan utjecaj na svojstva. Dodaju se kako bi se spriječili nedostaci u premazima (npr. pjena, loše razlijevanje, sedimentacija) ili da daju specifična svojstva (npr. klizavost, vatrousiporenje, svjetlostabilnost) koja se inače dosta teško postižu. Pri dodavanju aditiva mora se paziti na njihovu koncentraciju jer ako je ona veća, imaju više nuspojava koje su itekako nepoželjne [4].

Prema nedostatku na koji djeluju, aditivi mogu biti [4]:

- disperzanti i okvašivači
- reološki aditivi
- aditivi protiv pjenjenja
- aditivi za poboljšanje izgleda površine
- katalizatori i sušila
- konzervansi
- svjetlosni stabilizatori
- korozijski inhibitori.

3.2. Klasifikacija premaza

Glavni načini podjele premaznih sredstava jesu [4]:

- **prema sastavu**, pri čemu se podjela obično zasniva na vrsti veziva, ali katkad i na vrsti pigmenta, odnosno razrjeđivača otapala
- **prema osnovnoj namjeni** (sredstva za zaštitu od korozije, od mehaničkog oštećivanja, od požara, od biološkog obraštanja, sredstva za dekoraciju, za električnu izolaciju itd.)
- **prema izgledu** (bezbojna i različito obojena, mutna i sjajna)
- **prema podlogama na koje se nanose** (crni i obojeni metali, beton, drvo itd.)
- **prema broju sastojaka koji se miješaju prije nanošenja** (jednokomponentna, dvokomponentna, višekomponentna premazna sredstva)
- **prema ulozi u premaznu sustavu** (temeljna, međuslojna i pokrivna premazna sredstva, kitovi itd.)
- **prema mehanizmu sušenja** (fizikalno isparavanje razrjeđivača/otapala, odnosno kemijsko otvrdnjivanje reakcijama u vezivu ili s vezivom).

4. PROTUPOŽARNI PREMAZI

Zaštita metalnih konstrukcija od vatre postala je velik problem u industriji. Najekonomičnija i najlakša zaštita metalnih konstrukcija je protupožarnim premazima koji bubre prilikom povišenih temperatura. Imaju dvije prednosti, a to je da sprječavaju širenje požara i da usporavaju zagrijavanje podloge do kritičnih temperatura deformacije konstrukcijskih materijala koje mogu ugroziti nosivost ili čak izazvati kolaps konstrukcije. Sami premazi ne utječu na mehanička svojstva materijala kojeg štite. Osnovna funkcija protupožarnog premaza na čeličnim konstrukcijama je sprečavanje zagrijavanja osnovnog materijala u što dužem vremenskom periodu do maksimalno 500 °C. Osnovni materijal se štiti na način da protupožarni premaz ekspandira i time se udaljava toplinski udar od materijala. Ekspanzija odnosno povećanje volumena raste više od 100 puta. Temperatura od 500 °C je kritična temperatura jer pri toj temperaturi dolazi do strukturnih promjena željeza, odnosno željezo prelazi iz alfa stanja u gama stanje, a gama stanje ima znatno slabija mehanička svojstva. Za aluminij je ta temperatura 200 do 250°C. Prema normi ENV 13381 od 2002. godine gradbeni element otporan na požar predstavlja nosivi dio čelične konstrukcije. Norma klasificira čelične konstrukcije zaštićene protupožarnim premazima u nekoliko klasa. Pa tako imamo klasu otpornosti na požar 30 minuta, 45 minuta, 60 minuta, 120 minuta, do maksimalno 180 minuta. Svaka klasa otpornosti ovisi o karakteristikama protupožarnog premaza, a koji je funkcija debljine nanesenog sloja i karakteristici čeličnog profila koji se zaštićuje, a izražava se takozvanim faktorom presjeka. Faktor presjeka definiran je odnosom oplošja profila presjeka i same površine presjeka [4, 17].

Dvije su glavne vrste protupožarnih premaza koje se mogu nanositi raspršivanjem – organske i anorganske. Od organskih premaza najviše se upotrebljavaju ekspandirajuće (tzv. termoreaktivne) boje, dok od anorganskih cementne prevlake. Za pasivnu zaštitu od požara primjenjuju se i izolacijske ploče kojima se oblažu konstrukcije [4].

4.1. Organski protupožarni premazi

Protupožarni organski premazi bubre kada su izloženi vatri te tako stvaraju izolacijski sloj. Taj proces se naziva bubrenje ili ekspanziranje. Prilikom izloženosti vatri gornji sloj postaje mekan. Nakon toga nastupa toplinska razgradnja. Stvara se plin unutar premaza koji stvara pjenu iz spaljenog materijala (slika 19.). Tokom požara sve veći dijelovi premaza stvaraju takvu pjenu. Pjena ima izolacijska svojstva i time sprečava nagli porast temperature materijala koji štiti. Bitno je da pjena ostane stabilna i da se ne odvoji prilikom naglih udara vatre [18].



Slika 19. Bubrenje organskog premaza [19]

Najčešće se koriste organski premazi bazirani na epoksi smolama, ali mogu se upotrijebiti i druga veziva (akrilati, stiriol-akrilati i vinilkloridi). Jedna od prednosti epoksi premaza jest otpornost na različita mehanička opterećenja te vrlo dobra kemijska otpornost. Mehanička opterećenja javljaju se u samoj konstrukciji, prilikom prijevoza ili tokom montaže i eksploatacije. U mnogim slučajevima vezivo sadrži izvor ugljika nadalje ostale supstance u boji stvaraju plinove koji omogućuju stvaranje pjene. Najčešće debljine protupožarnog sustava premaza kreću se od 5 mm do 20 mm [18].

Nedostaci organskih premaza jest da su zapaljivi i prilikom zapaljenja stvara se otrovni dim i plin. Troškovi materijala su visoki, ali u dužem vremenskom periodu sama trajnost i minimalni popravci moraju se uzeti u obzir [18].

4.2. Anorganski protupožarni premazi

Anorganski protupožarni premazi su bazirani na „Portland“ cementu. Kao specijalna vrsta aktivnog aditiva koriste se mika i vermikulit aditivi za cement. Vermikulit ima malu masu naspram volumena te ima odlična izolacijska svojstva i toplinsku postojanost. Prilikom požara, voda koja je apsorbirana u premazu će ispariti, ali i nakon isparivanja premaz ima dobra izolacijska svojstva. Portland cement mora nakon požara upijati vlagu iz zraka. Ukoliko temperatura nije prelazila 380 °C premaz nije oštećen. Bilo koji dijelovi koji su bili oštećeni prilikom požara mogu se ručno popraviti. Jedna od prednosti protupožarnih anorganskih premaza baziranih na cementu jest da su nezapaljivi i da ne stvaraju nikakve plinove. Troškovi materijala i troškovi nanošenja premaza su niski. Nedostatak cementne prevlake jest da imaju slaba mehanička svojstva i veliku masu. Nadalje struktura je porozna pa treba potreban antikorozivni premaz prije nanošenja protupožarnog premaza. Debljina premaza kreće se od 20 mm do 40 mm [18].

4.3. Princip djelovanja protupožarnih ekspandirajućih premaza

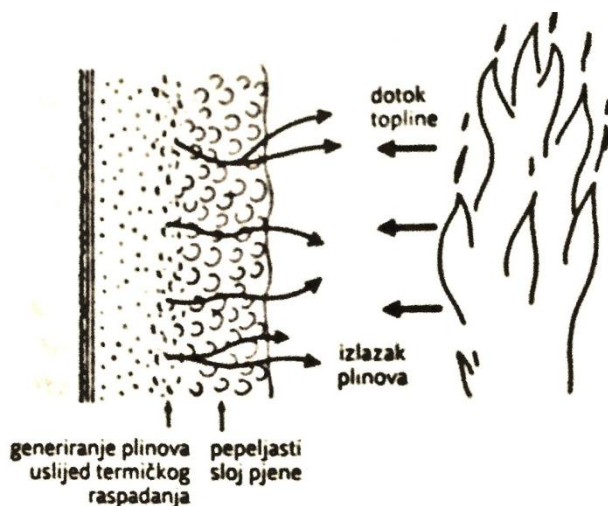
Protupožarna ekspandirajuća boja pri pojavi požara i razvoja visokih temperatura ekspandira i stvara zaštitnu izolirajuću pjenu koja usporava prijenos topline i štiti površinu od zagrijavanja na temperature pri kojima dolazi do promjene mehaničkih svojstava materijala. Ekspanzijom se volumen premaza povećava i više od 100 puta. Premaz debljine oko 1 mm, pod djelovanjem vatre ekspandira u zaštitni sloj pepeljastog krutog nanosa od oko 100 do 150 mm [4].

Tri su osnovne aktivne komponente ekspandirajućih premaza [4]:

- katalizator – izvor kiseline, najčešće amonijev polifosfat
- izvor ugljika – u većini formulacija radi se o penteritritolu ili dipentaeritritolu
- izvor inertnog plina – najčešće melamin ili dicijandiamid koji generiraju dušik.

Proces stvaranja termoizolacijske pjene (slika 20.) iz premaza zbiva se u nekoliko faza. Pri temperaturi od oko 250 °C amonijev polifosfat se djelomično raspada oslobađajući amonijak te prelazi u polifosfornu kiselinu koja nakon toga ulazi u reakciju s poliolom, oduzimajući mu vodu. Nastaje ugljično-polifosfatna struktura, tvorno tkivo buduće pjene. U sljedećoj fazi dolazi do raspadanja komponente (npr. melamina) koja je izvor inertnog plina, oslobađa se dušik koji zatim provodi ekspandiranje materijala te stvaranje pjene [4].

Vrlo je važno da se proces zbiva po strogo određenoj dinamici, tj. najprije se mora stvoriti materijal za pjenu, a tek nakon toga plin koji će ga ekspandirati. Pri tome je ključno da je pjena po volumenu što veća, kompaktna i bez pukotina, dovoljno čvrsta, te da što bolje prijanja na podlogu (nastala pjena ne smije otpasti s podloge ostavljajući je nezaštićenom). Uloga veziva je iznimno važna u konačnoj kvaliteti tih vrsta premaza. Vezivo stvara film, a o njegovoj kompaktnosti, tj. nepropusnosti ovisi svojstvo zadržavanja homogenosti i kompaktnosti stvorene pjene. Vezivo ima ključnu ulogu i za svojstva premaza u vremenu prije požara jer osigurava prevlaku dobrih fizičko-mehaničkih svojstava, odlične prionjivosti za podlogu, otpornu na mehaničke utjecaje i različite agense, te na atmosferilije. Kao odgovarajuća veziva tijekom vremena izdvojili su se termoplastični akrilati, stirol-akrilati i vinilkloridi [4].



Slika 20. Stvaranje izolacijske pjene pri izlaganju vatri [4]

4.4. Ispitivanje protupožarne zaštite

Kako bi se moglo provesti objektivno ispitivanje i usporedba efikasnosti različitih tipova protupožarnih materijala kao i njihovo certificiranje, požari se obično svrstavaju u 3 osnovne kategorije [4]:

- gorenje celuloze – maksimalna temperatura je 900 °C (norme BS 476, ISO 834), a nakon 90 minuta raste na maksimalnih 1000 °C
- gorenje ugljikovodika – maksimalna temperatura je već nakon 30 minuta viša od 1100 °C (HRN DIN 4102)
- požar mlaznih pogonskih goriva – maksimalna temperatura je viša od 1200 °C (rabi se za ispitivanje protupožarnih sustava namijenjenih zaštiti naftnih platformi, rafinerijskih postrojenja i sl.).

Ispitivanje se provodi na čeličnim profilima definiranih faktora profila (odnos opsega profila i površine presjeka profila) zaštićenim određenim protupožarnim premazom definirane debljine. Tijekom paljenja prati se porast temperature u peći i porast temperature podloge. Kada temperatura podloge na nekoliko mjernih mjesta postigne kritičnu vrijednost, ispitivanje se prekida, a postignuto vrijeme se definira kao vrijeme zaštite odnosno klasa otpornosti [4].

Klasa otpornosti na požar određena je vremenom (30 minuta, 45 minuta, 60 minuta, 120 minuta, 180 minuta) u kojem građevinski element ili konstrukcija u uvjetima tipičnog razvoja požara očuvao svoju stabilnost, spriječio prodor plamena ili toplinskog zračenja sukladno dopuštenim vrijednostima [4].

Pri zaštiti čeličnih elemenata, u uvjetima razvoja požara konstrukcija ne smije dostići temperaturu zagrijavanja višu od 500 °C. Otpornost na požar određuje se ispitivanjima u požarnim komorama. Na osnovi ispitivanja svaki proizvođač propisuje minimalnu potrebnu debljinu protupožarnog premaza ovisno o faktoru profila za različite klase otpornosti na požar [4].

Osnovni kriterij za određivanje zahtjeva klase otpornosti na požar pri projektiranju objekata je procjena koliko se brzo može reagirati u slučaju izbijanja požara, tj. koliko će brzo stići vatrogasna ekipa do objekta i započeti gašenje. Važno je i borave li u objektu ljudi i koliko je minimalno vrijeme da oni napuste objekt. Za većinu objekata i lokacija vrijedi pravilo da vatrogasci stižu za pola sata što u tom slučaju odgovara klasi 30 minuta [4].

5. EKSPERIMENTALNI DIO

U eksperimentalnom dijelu rada provedeno je ispitivanje postojanosti protupožarnog sustava premaza „Pirostop“ u slanoj komori, određivanje prionjivosti pomoću "Cross-Cut" i "Pull-Off" metoda, te određivanje temperature ekspaniranja protupožarnog sustava „Pirostop“ na pločicama niskougljičnog čelika. Ispitivanje je provedeno na 14 pločica na koje je nanesen protupožarni sustav premaza. Ispitivanja su provedena s ciljem određivanja zaštitnog djelovanja premaza na različite atmosferske uvjete, te zaštite usred požara.

5.1. Protupožarni premaz "Pirostop"

Za ispitivanje je korišten protupožarni sustav premaza "Pirostop" proizvođača Chromos, nanesen u tvrtci "Chromos boje i lakovi d.d" koji se sastoji od tri sloja. Prvi temeljni sloj je „Pirostop“ temelj WP (wash primer), međusloj je "Pirostop" protupožarni premaz i završni sloj je „Pirostop“ lakboja. "Pirostop temelj WP" (slika 21.) je dvokomponentna temeljna boja za metalne površine na osnovi kombinacije polivinilbutiralne i fenolne smole, te fosforne kiseline kao aktivatora. Za međusloj korištena je "Pirostop" jednokomponentna protupožarna boja (slika 22.) izrađena iz umjetnih smola, specijalnih funkcijskih dodataka, anorganskih pigmenata, punila i organskih otapala. Za završni sloj korištena je "Pirostop" lakboja (slika 23.) koja je visoko kvalitetna lakboja izrađena na osnovi vinilnih smola.

Osušeni nanos boja zahvaćen plamenom i/ili temperaturom razvija gustu mikroporoznu pjenu. Pjena djelujući kao izolator usporava prijenos topline na podlogu. Na taj se način sprječava zagrijavanje podloge do kritičnih temperatura deformacije konstrukcijskih materijala, koje mogu ugroziti stabilnost ili čak izazvati i kolaps konstrukcije.

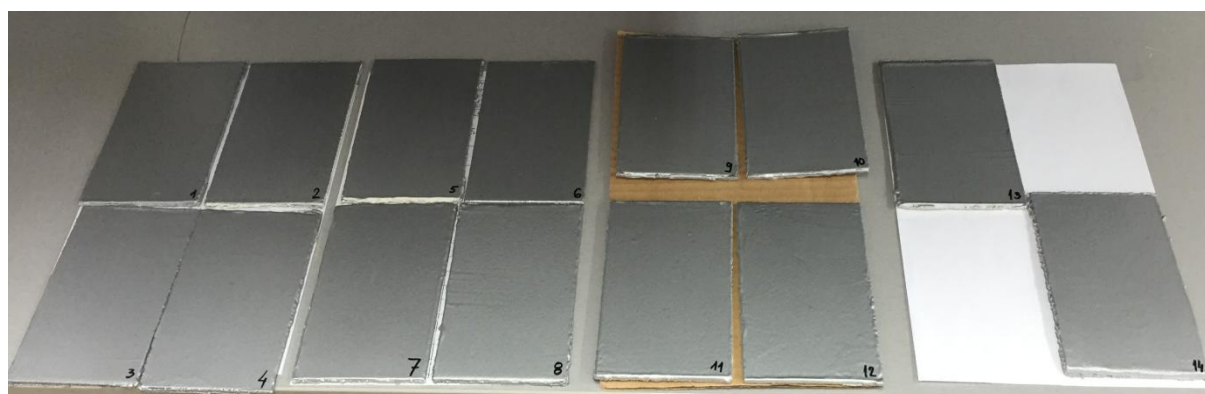
Debeloslojni premaz za unutarnju i vanjsku protupožarnu zaštitu metalnih (čeličnih) konstrukcija, drvenih građevinskih elemenata i drugih konstrukcijskih materijala. Protupožarna boja u vremenu 30 do 60 minuta održava stabilnost konstrukcija i time osigurava dodatno vitalno vrijeme za evakuaciju i gašenje požara.



Slika 21. Uzorci sa nanesenom temeljnom bojom



Slika 22. Uzorci sa nanesenom protupožarnom bojom




Slika 23. Završni izgled uzoraka sa nanesenom lakbojom

5.2. Mjerenje debljine premaza

U Laboratoriju za zaštitu materijala na FSB-u provedeno je ispitivanje debljine premaza uređajem "Elcometer 456" (tablica 1.) sukladno normi HRN EN ISO 2808. Na svakom uzorku provedeno je po deset mjerenja prikazano u tablici 1. Nakon izvršenog mjerenja uređaj je spojen na računalu i dobiveni su podaci o debljini premaza.

Tablica 1. Mjerenje debljine premaza

	<p>Slika prikazuje inspektor kit s "Elcometer 456" uređajem za ispitivanje debljine premaza.</p>
	<p>Postupak izvođenja mjerenja.</p>

Tablica 2. Izmjerene debljine premaza

Uzorak	Minimum [μm]	Maksimum [μm]	Srednja vrijednost [μm]	Standardna devijacija [μm]
1	752,0	916,0	849,11	55,67
2	742,0	864,0	790,78	38,50
3	771,0	888,0	819,00	37,72
4	753,0	900,0	832,11	50,39
5	702,0	785,0	738,56	30,44
6	701,0	830,0	754,44	40,99
7	1338,0	1561,0	1436,67	69,12
8	1230,0	1541,0	1415,67	100,27
9	1270,0	1488,0	1381,67	79,33
10	1293,0	1470,0	1389,78	69,71
11	1458,0	1601,0	1537,11	49,98
12	1427,0	1571,0	1500,89	51,31
13	1379,0	1450,0	1430,00	22,99
14	1288,0	1508,0	1398,89	69,76

Izmjerene vrijednosti nam ukazuju da je prvih 6 uzoraka manje debljine te se srednje vrijednosti kreću od 738,56 pa do 849,11 μm . Ostali uzorci od 7 do 14 su veće debljine te izmjerene srednje vrijednosti iznose od 1381,67 do 1537,11 μm .

5.3. Ispitivanje postojanosti u slanoj komori

Ispitivanjima u slanoj komori simulira se izlaganje morskoj atmosferi pri čemu se razrijeđena otopina NaCl raspršuje u vidu magle na ispitivane uzorke. Ta se ispitivanja provode sukladno normi HRN EN ISO 9227:2012, a uvjete ispitivanja daje tablica 3. Prikaz slane komore je na slici 24 [4].



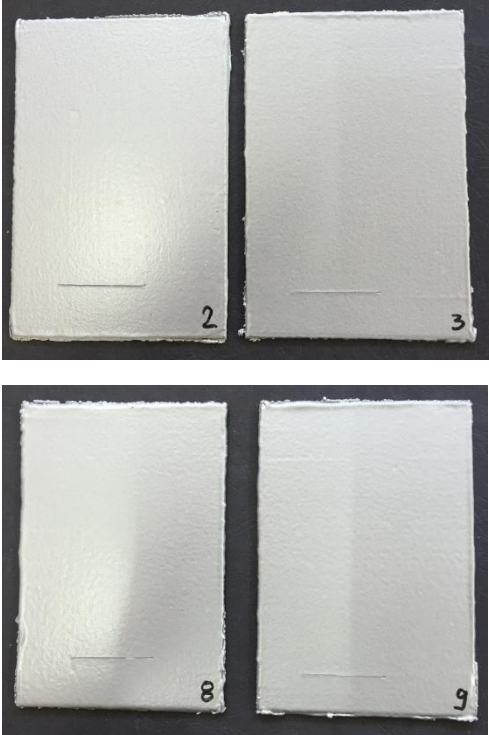
Slika 24. Slana komora, Laboratorij za zaštitu materijala, FSB

Ispitni uzorci su nakon nanošenja premaza i sušenja ispitani su u slanoj komori u trajanju od 120 sati. Izabrani su uzorci 2 i 3 od uzoraka manjih debljina, te uzorci 8 i 9 od većih debljina. Ispitivanje je provedeno u slanoj komori Ascott, model S450, u Laboratoriju za zaštitu materijala. Parametri ispitivanja su prikazani u tablici 3. a izgled uzoraka prije i nakon ispitivanja u tablici 4.

Tablica 3. Parametri ispitivanja u slanoj komori

Parametri ispitivanja	Norma HRN EN ISO 9227:2012	Uvjeti ispitivanja
Trajanje ispitivanja [h]	prema dogovoru	120
Temperatura ispitnog prostora [°C]	35±2	35±0,1
Volumen ispitnog prostora [l]	-	-
Temperatura ovlaživača komp. zraka [°C]	45 - 50	50
Tlak komprimiranog zraka [bar]	0,7 - 1,4	1,4
Otopina	NaCl	NaCl
Koncentracija NaCl otopine [%]	5	5
Količina sakupljenog kondenzata [ml/80cm ² /h]	1,5±0,5	2,0
pH-vrijednost kondenzata pri 25±2 °C	6,5 - 7,2	6,63
Elektroprovodljivost destilirane vode [μS/cm] pri 25±2 °C	max. 20	<10

Tablica 4. Izgled uzoraka prije i nakon vadenja iz slane komore

	<p>Izgled ispitnih uzoraka prije stavljanja u slanu komoru sa urezom u donjem dijelu uzoraka.</p> <p>Uzorci 2 i 3 su debljina $\sim 700 \mu\text{m}$, a uzorci 8 i 9 $\sim 1400 \mu\text{m}$.</p>
	<p>Uzorci nakon 120 h u slanoj komori. Vidimo kako je na svim uzorcima došlo do bubrenja premaza. Na uzorcima 2 i 3 ima više manjih mjehura dok je na uzorcima 8 i 9 došlo do izraženijeg bubrenja u području zarezivanja.</p>

Nakon ispitivanja u slanoj komori proveden je postupak ocjene stupnja korozije prema normi HRN EN ISO 4628-3 i pojave mjehuranja prema normi HRN EN ISO 4628-2. Rezultati ocjene stupnja korozije i pojave mjehuranja premaza dani su u tablici 5.

Tablica 5. Ocjena stupnja korozije i mjehuranja

Uzorci	Mjehuranje premaza (HRN EN ISO 4628-2)	Stupanj korozije (HRN EN ISO 4628-3)
2	D3 S2	Ri 0
3	D3 S2	Ri 0
8	D1 S5	Ri 0
9	D1 S5	Ri 0

Nakon ispitivanja od 5 dana, tj. 120 h nije uočena nikakva pojava korozije na uzorcima. Na uzorcima 2 i 3 došlo je do mjehuranja veće gustoće (D3), i manje veličine mjehura (S2), a na uzorcima 8 i 9 mjehuri su manje pojavne gustoće (D1), ali su veći te su ocijenjeni sa veličinom S5.

5.4. Ispitivanje prionjivosti premaza – "Cross-cut" test

Jedna od osnovnih karakteristika svakog premaza je prionjivost na podlogu ili prethodni premaz u sustavu. Prionjivost premaza izravno utječe na kvalitetu njegova zaštitnog djelovanja na površini na koju je nanesen kao i dužinu vijeka trajanja zaštite. Prionjivost se određuje urezivanjem mrežice sukladno normi HRN EN ISO 2409:2013 [4].

Pomoću instrumenta ureže se u premaz 2 x 6 ureza pod pravim kutom, čime se formira mrežica od 25 kvadratića. Urezivanje se obavlja jednolikom brzinom i urez mora doći do podloge, ali ne smije zagrepsti duboko u nju. Urezi moraju biti jednoliki, a udaljenosti između njih ovisi o debljini premaza. Pošto je debljina premaza veća od 120 µm uzima se razmak između ureza 3 mm.

Nakon urezivanja radi se lagano četkanje mrežice, a zatim se na mrežicu zalijepi ljepljiva vrpca, koja se potom naglo odlijepi. Nakon toga slijedi usporedba mrežice sa standardnom skalom (tablica 6.) te ocjenjivanje prionjivosti premaza (tablica 7.).

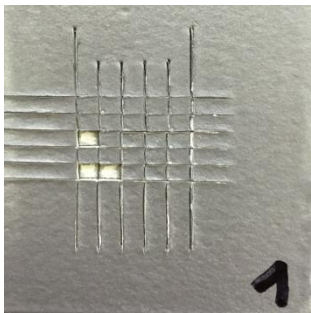
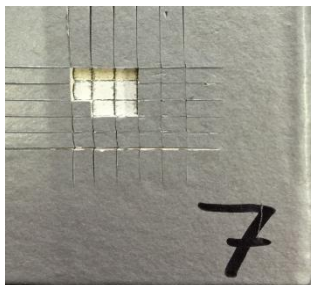
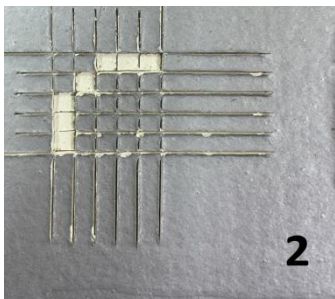
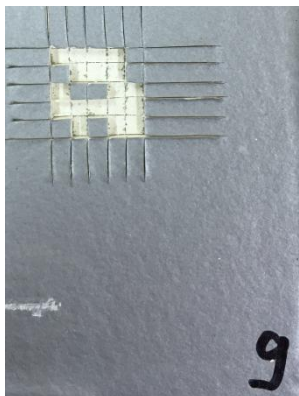
Tablica 6. Ocjenjivanje prionjivosti premaza [4]

Opis	HRN EN ISO 2409:2013
Tragovi rezova su potpuno glatki, nijedan kvadratić mrežice nije otkinut	0
Nešto premaza je oljušteno na sjecištima u mrežici, manje od 5 % površine je oštećeno	1
Dio premaza je oljušten na rubovima i sjecištima u mrežici, 5 do 15 % površine je oštećeno	2
Premaz je oljušten duž rubova i unutar kvadratića mrežice, 15 do 35 % površine je oštećeno	3
Premaz je oljušten duž rubova cijelog reza, neki kvadratići su potpuno oljušteni, 35 do 65 % površine je oštećeno	4
Više od 65 % površine je oljušteno	5

Prema normi HRN EN ISO 2409:2013 ocjene 0, 1, 2, prionjivosti premaza zadovoljavaju.

U tablici 7. je dan prikaz "Cross-cut" testa provedenog na uzorcima 1 i 7, te na uzorcima 2 i 9 koji su bili u slanoj komori 120 h te njihove ocjene prionjivosti.


Tablica 7. "Cross-cut" test prije i poslije slane komore

Izgled mrežice prije slane komore	Ocjena prionjivosti (HRN EN ISO 2409)
	Oljušteno 12 % površine, ocjena: 2
	Oljušteno 32 % površine, ocjena: 3
Izgled mrežice nakon slane komore (120 h)	
	Oljušteno 28 % površine, ocjena: 3
	Oljušteno 72 % površine, ocjena: 5

5.5. Ispitivanje prionjivosti vlačnom metodom "Pull – off test"

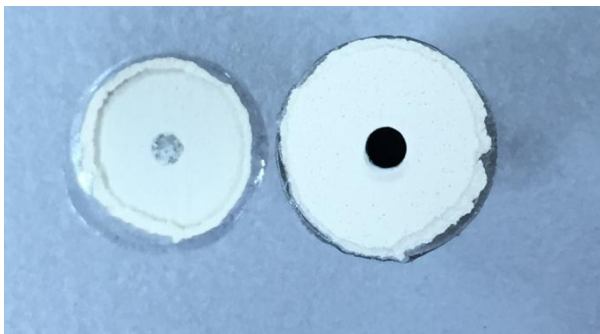
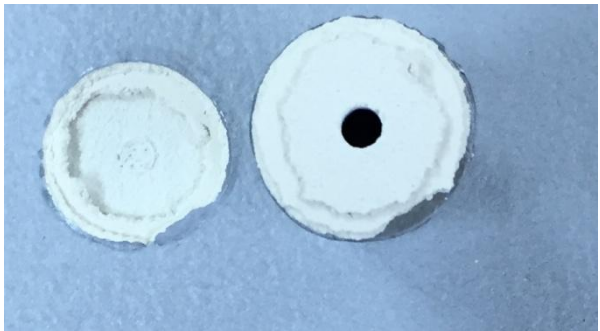
Ispitivanje prionjivosti protupožarnog sustava premaza provedeno je pomoću "Pull-off" postupka prema normi HRN EN ISO 4624. Ispitivanje je provedeno uređajem "Elcometer 108". Nakon pripreme površine sonde, nanosi se tanak i ravnomjieran sloj brzосушеćог лјепила na sondu koja se zalijepi na premaz i drži oko 30 minuta. Nakon otvrdnjavanja ljepila svrdlom se ukloni višak ljepila koje se nakupilo u provrtu sonde. Nakon toga provodi se potisni klin uređaja kroz provrt sonde te se okretanjem ručice uređaja povećava pritisak klina koji se upire o površinu uzorka i nastoji odvojiti sondu od površine. Postupak je završen kada se sonda odvoji od uzorka te se očita vlačna čvrstoća. U tablici 8. prikazan je postupak ispitivanja prionjivosti premaza "Pull-off" postupkom.

Tablica 8. Postupak "Pull-off" testa

	<p>Slika prikazuje inspektor kit s "Elcometer 108" uređajem za ispitivanje prionjivosti premaza.</p>
	<p>Ispitivanje prionjivosti okretanjem ručice i povećavanja pritiska klina na površinu koji nastoji odvojiti sondu od uzorka.</p>

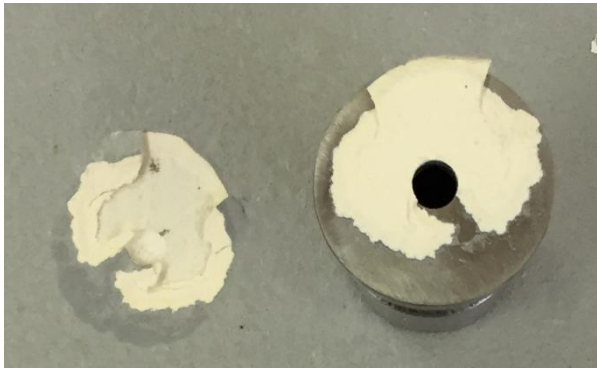
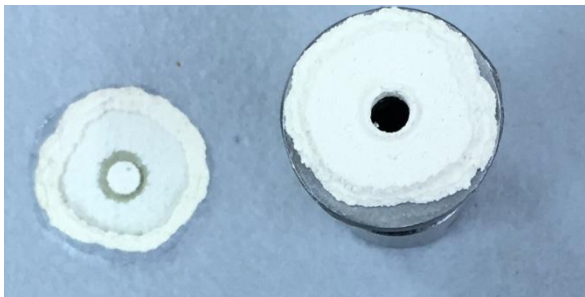
U tablici 9. i 10. dani su rezultati prionjivosti na uzorcima 1 i 13 koji nisu bili u slanoj komori, te na uzorcima 3 i 9 koji su bili u slanoj komori 120 h.

Tablica 9. Rezultati "Pull off" testa prije slane komore

Uzorak br.	Prionjivost prije slane komore	Prionjivost (HRN EN ISO4624)
1		2,26 MPa
13		1,91 MPa

Po rezultatima se vidi da je prionjivost prilično mala i da ne zadovoljava vrijednost od 5 MPa koja je propisana normom HRN EN ISO 4624, da se i zamijetiti da je prionjivost na uzorku 1, koji ima manju debljinu premaza (~700 μm), nešto veća nego na uzorku 13, koji ima veću debljinu premaza (~1400 μm).

Tablica 10. Rezultati "Pull off" testa nakon slane komore

Uzorak br.	Prionjivost nakon slane komore	Prionjivost (HRN EN ISO4624)
3		2,50 MPa
9		1,94 MPa

Nakon ispitivanja u slanoj komori prionjivost se nije smanjila, ali i dalje ne zadovoljava vrijednost od 5 MPa koja je propisana normom HRN EN ISO 4624, i ovdje se da zamijetiti da je kod premaza manje debljine premaza prionjivost nešto veća nego kod uzorka veće debljine premaza.

5.6. Ispitivanje ekspaniranja protupožarnog premaza u peći




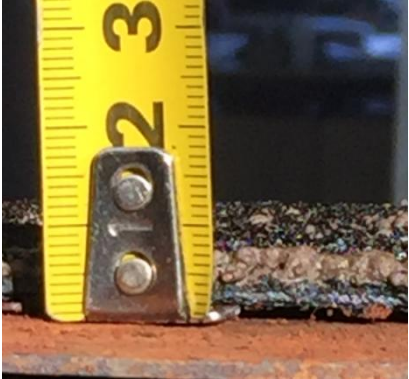
U Laboratoriju za toplinsku obradu provedeno je ispitivanje ekspaniranja protupožarnog sustava premaza "Pirostop" u peći na temperaturama 300, 400 i 500 °C. Ispitivanje je provedeno na uzorcima 4, 5 i 6 (debljine ~700 µm), te na uzorcima 10, 11 i 12 (debljine ~1400 µm). U tablicama koje slijede prikazano je ispitivanje. Temperatura površina premaza pratila se laserskim IC termometrom. Tablica 11. prikazuje opremu korištenu pri ispitivanju.

Tablica 11. Oprema u Laboratoriju za toplinsku obradu

	<p>Laboratorijska peć u kojoj je vršeno ispitivanje.</p>
	<p>Laserski infracrveni termometar kojem su mjerene temperature.</p>




Tablica 12. prikazuje ispitivanje uzoraka 4 i 10 pri temperaturi od 300 °C. Uzorci su bili u peći 15 minuta, sa vađenjem svakih 5 minuta zbog vizualnog pregleda i mjerenja temperature.

Tablica 12. Ispitivanje uzoraka pri temperaturi 300 °C




Vrijeme uzorka u peći [min]	Temperatura uzorka [°C]	Uzorak 4
5	223	Nema promjena
10	243	
15	250	
-	-	Uzorak 10
5	229	Nema promjena
10	257	
15	265	

Tablice 13. i 14. prikazuju ispitivanje uzoraka 5 i 11 pri temperaturi od 400 °C. Uzorci su bili u peći 15 minuta, sa vađenjem svakih 5 minuta zbog vizualnog pregleda i mjerenja temperature.

Tablica 13. Ispitivanje uzorka 5 pri temperaturi 400 °C




Vrijeme uzorka u peći [min]	Temperatura uzorka [°C]	Uzorak 5
5	253	
10	260	
15	266	

Tablica 14. Ispitivanje uzorka 11 pri temperaturi 400 °C




Vrijeme uzorka u peći [min]	Temperatura uzorka [°C]	Uzorak 11
5	270	
10	262	
15	245	

Tablice 15. i 16. prikazuju ispitivanje uzorka 6 i 12 pri temperaturi od 500 °C. Uzorci su bili u peći 15 minuta, sa vađenjem svakih 5 minuta zbog vizualnog pregleda i mjerenja temperature.

Tablica 15. Ispitivanje uzorka 6 pri temperaturi 500 °C

Vrijeme uzorka u peći [min]	Temperatura uzorka [°C]	Uzorak 6
5	250	
10	263	
15	270	

Tablica 16. Ispitivanje uzorka 12 pri temperaturi 500 °C

Vrijeme uzorka u peći [min]	Temperatura uzorka [°C]	Uzorak 12
5	260	 A dark, irregularly shaped sample with a rough, porous texture. White smoke is rising from the top surface, indicating active chemical or physical changes.
10	195	 The sample is shown in a similar state to the 5-minute mark, with a dark, porous appearance and white smoke rising from it.
15	260	 A close-up view of the sample next to a yellow measuring tape. The sample is dark and porous. The measuring tape shows a scale from 2 to 7 cm, with the sample's height being approximately 3.5 cm.

Na ispitivanju uzoraka pri 300 °C vidljiv je tek početak ekspanzije, a temperature su lagano rasle. Nije vidljiva razlika u ekspanziji između uzoraka 4 i 10.

Ispitivanje pri 400 °C daje nam već jasnije rezultate, već nakon 5 minuta u peći uzorci ekspandiraju 1-2 cm. Nakon 15 minuta, vidljivo je da je uzorak 11 koji je veće debljine premaza ekspandirao skoro 6 cm, a uzorak 5 skoro 4 cm. Temperatura na uzorku 5 lagano raste, dok temperatura na uzorku 11 pada zbog nagle ekspanzije premaza.

Ispitivanje pri 500 °C pokazuje da premaz odlično funkcionira pri zaštiti pločice, te da već nakon 5 minuta u peći uzorci počinju naglo ekspandirati. To je posebno vidljivo kod uzorka 12 (veća debljina premaza) koji nakon 5 minuta ekspandira 4-5 cm. Nakon 10 minuta ekspanzija je još veća i time se znatno smanjuje temperatura uzorka. Nakon 15 minuta uzorak je ekspandirao 7 cm što je 50 puta veće od njegove debljine premaza. I u ovom slučaju je jasno vidljiva razlika visine ekspandirane pjene između uzorka 6 (debljine ~700 µm) i uzorka 12 (debljine ~ 1400 µm).

6. ZAKLJUČAK

Zbog sve veće upotrebe čeličnih elemenata građevinskih konstrukcija prilikom izgradnje potreba za zaštitom premazima sve je veća, a samim time povećan je razvoj novih tehnologija, povećani su zahtjevi za dužim vijekom trajanja premaza, vatrootpornosti te primjenom premaza prihvatljivijim za okoliš. Stoga se sve više pažnje posvećuje razvoju protupožarnih sustava premaza.

U eksperimentalnom djelu rada provedeno je korozijsko ispitivanje u slanoj komori, ispitivanje prionjivosti "Pull off" i "Cross-cut" metodama, te ispitivanje na otpornost prema povišenoj temperaturi u peći. Ispitivanja su provedena s ciljem utvrđivanja otpornosti na koroziju u agresivnom mediju te na postojanost prema temperaturi.

Ispitivanje u slanoj komori – protupožarni sustav premaza otporan je na koroziju u agresivnom mediju, ali dolazi do mjehuranja i bubrenja premaza.

Ispitivanje "Cross-cut" testom – prionjivost sustava premaza nije zadovoljavajuća i ima slabe ocjene prionjivosti, nakon ispitivanja u slanoj komori prionjivost je još slabija. Mogući razlog je velika debljina premaza, te prekratko vrijeme sušenja premaza.

Ispitivanje "Pull-off" testom – prionjivost protupožarnog sustava premaza je ispod granice od 5,0 MPa i ne zadovoljava propisanu normu HRN EN ISO 4624-6. Mogući razlog je prekratko vrijeme sušenja premaza ili nepropisno nanošenje premaza.

Ispitivanje ekspandiranja premaza u peći – ispitivanje pokazuje da je početak ekspanzije pjene u peći pri 300 °C. Vidljivo je da povećanjem temperature ekspanzija naglo raste već nakon 5 min, te da pjena raste i do 50 puta više od debljine premaza nakon 15 minuta ispitivanja. Utvrđeno je i da premaz naglom ekspanzijom pjene uspijeva smanjiti temperaturu grijanog uzorka. Time je potvrđena otpornost prema temperaturi koja ovisi o samoj debljini nanesenog protupožarnog sustava premaza i temperaturi kojoj je protupožarni sustav premaza izložen.

LITERATURA

- [1] Juraga I., Alar V., Stojanović I., Šimunović V.: Korozijska zaštita od korozijske štete, skripta, FSB, Zagreb, 2009.
- [2] Stupnišek-Lisac E.: Korozijska zaštita konstrukcijskih materijala, FKIT, Zagreb, 2007.
- [3] Esih I.: Osnove površinske zaštite, FSB, Zagreb, 2003.
- [4] Juraga I., Alar V., Stojanović I.: Korozijska zaštita premazima, FSB, Zagreb, 2014.
- [5] <http://pierre.fkit.hr/korozijska/pictures/elkorozijska.jpg>, dostupno 10.02.2016.
- [6] <http://tekol-teri.hr/images/akz3V.jpg>, dostupno 10.02.2016.
- [7] <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7d/Stainless-steel-mild-steel.jpg>, dostupno 10.02.2016.
- [8] http://www.totalmateria.com/images/Articles/ktn/Fig187_1.jpg, dostupno 10.02.2016.
- [9] https://www.fsb.unizg.hr/usb_frontend/files/1429524863-0-im_korozijska_15compatibilitymode.pdf, dostupno 10.02.2016.
- [10] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/28/Intergranular_corrosion.JPG, dostupno 10.02.2016.
- [11] Diplomski rad, Huljev B., FSB, Zagreb, 30.06.2008.
- [12] <http://sirius.mtm.kuleuven.be/Research/corr-o-scope/graphics/case01113401.gif>, dostupno 10.02.2016.
- [13] https://degradationeng.files.wordpress.com/2014/11/stress_corrosion_ammonia.gif, dostupno 10.02.2016.
- [14] http://www.periodni.com/gallery/katodna_zastita.png, dostupno 10.02.2016.
- [15] http://www.cortecros.hr/Uploads/Publikacije/Strucni%20radovi/korozijska_u_brodogradnji.pdf, dostupno 10.02.2016.
- [16] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/hr/thumb/e/e5/Elektroplatiniranje_1.png/300px-Elektroplatiniranje_1.png, dostupno 11.02.2016.
- [17] Juraj D.: Protupožarni premazi – ocjena sukladnosti gradbenih čeličnih konstrukcija, HDZaMa, Zagreb, 2009.
- [18] D. Kjærsmo, K. Kleven, J. Scheie: Corrosion protection: Inspector's book of reference, Danska, 2003.
- [19] Diplomski rad, Števinović T., FSB, Zagreb, 2014.

PRILOZI

I. CD-R disc